

# Mist 를 이용한 저공해 연삭 가공기술 개발

최헌중\*, 이석우, 김대중 (한국생산기술연구원), 정해도 (부산대학교)

## Development of Low Pollution Grinding Technology using Mist

H. Z. Choi, S. W. Lee, D. J. Kim (Korea Institute of Industrial Technology)

H, D, Jeong (Pusan National Univ.)

### ABSTRACT

The environmental problems by using coolant demanded the new cooling methods. As one of them, the studies on the dry grinding with compressed cold air have been done. The cooling method using compressed cold air was effective through going down the temperature of compressed air supplied below  $-25^{\circ}\text{C}$  and increasing the amount of compressed cold air, but had not enough cooling effect due to the low performance of lubrication. Therefore, the cooling methods using MQL(Minimum Quantity Lubrication) or mist newly were suggested. These two methods can satisfy both cooling effect and lubrication with only small amount of coolant, also has the benefit in the point of decreasing the environmental pollution.

This paper focused on analyzing the grinding characteristics of the cooling method using mist. The generated heat and grinding force of the cooling method using mist were compared with them of coolant and compressed cold air. And the grinding test according to the temperature of compressed cold air, mist spray amount and mist supply direction were done.

Key Words : Environmental Problem(환경문제), Coolant(연삭유), Cooling Method(냉각방법), Dry Grinding(건식연삭) Compressed Cold Air(압축냉각공기), Lubrication(윤활), Cooling Effect(냉각효과), Mist(미스트)

### 1. 서론

연삭가공에서 널리 사용되는 연삭유는 윤활성 냉각성, 세척성이 뛰어나지만 이로 인한 환경문제가 대두되면서 연삭유 대신에 압축냉각공기를 이용한 건식연삭 가공기술에 대한 검토와 실용화를 위한 많은 연구가 진행되고 있다<sup>[1]</sup>. 실제로 압축냉각공기를 이용한 연삭실험에서 압축냉각공기의 온도를  $-25^{\circ}\text{C}$  이하로 낮게 하고, 충분한 유량을 가공점에 공급해주면 슷들과 공작물 사이에 냉각효과가 좋아져서 연삭 후 공작물의 표면품질이 향상되는 것을 볼 수 있었다<sup>[2], [3]</sup>.

하지만, 압축냉각공기만을 이용한 건식연삭 가공기술의 경우 슷들과 공작물사이의 가공점에서 윤활효과를 얻기 위한 매체가 존재하지 않기 때문에 연삭스�들과 공작물사이의 마찰이 커져 연삭열이 많이 발생하고 표면품질이 나빠지게 된다. 또한 압축냉각공기에 의한 냉각은 고체와 기체간의 열교환에 의한 것이기 때문에 효율이 떨어진다. 따라서, 냉

각효과와 윤활효과 두 가지 모두를 만족시킬 수 있는 새로운 대체냉각 가공기술이 절실히 요구되고 있다.

그 예로, 극미량 공급장치나 Mist 를 이용한 대체냉각가공기술이 제시되고 있는데 이러한 가공방법은 공작물의 냉각효과 및 윤활효과를 향상시키면서 연삭유 사용을 최소화하여 환경오염을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 압축냉각공기의 냉각효과와 연삭유의 윤활효과를 동시에 얻기 위하여 압축냉각공기와 Mist 화된 연삭유를 이용한 연삭방법을 제시하였으며 제시된 방법의 효과를 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 하였다.

첫째, 가공점에서의 냉각효과와 윤활효과를 분석하기 위해 가공점에서의 연삭열과 연삭력을 측정했으며, 연삭가공 후 슷들표면의 눈막힘 현상을 관찰해 측정결과를 기존의 연삭유와 압축냉각공기를 이용한 냉각방법과 비교하였다. 둘째, Mist 를 이용한 냉각방법의 연삭특성을 분

석하기 위해 함께 사용하는 압축냉각공기의 온도와 Mist 분사량 그리고 분사방향에 따른 연삭실험을 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험조건

Table 1은 연삭실험조건을 나타낸 것이다. 사용 스톨은 알루미늄 스톨과 CBN 스톨이며 SUS420J2, SM45C SCM21의 연삭시편을 사용해 연삭특성실험을 하였다. 연삭 실험은 연삭유, 압축냉각공기 및 압축냉각공기와 Mist의 조합을 이용한 3가지 냉각방법과 압축냉각공기의 온도, Mist 분사량 Mist 분사방향에 따른 연삭성능을 분석하였다.

Table 1 Experimental Condition

Grinding Machine	Surface grinder Cylindrical grinding machine	
Grinding Wheel	WA80 IJ7V $\phi 305 \times t25 \times \phi 127$ CBN(B80H150V3) $\phi 305 \times t10 \times \phi 127$	
Workpiece	SUS420	Heat treatment, H <sub>RC</sub> 46~48
	SM45C	Heat treatment, H <sub>RC</sub> 18~24
	SCM21	Carburizing and quenching, H <sub>RC</sub> 56~60
Grinding Fluids	Coolant	Emulsion 4%
	Mist	Amount(ml/min) 2, 10, 25, 50 Temperature(°C) -10, -20, -30, -40
Dressing Conditions	WA Wheel	One point diamond dresser
	CBN Wheel	Rotary dresser
	Depth of cut ( $a_d$ , $\mu m$ )	10
Working Conditions	Feed rate ( $f_d$ , mm/rev)	0.05
	Depth of cut ( $a$ , $\mu m/sec$ )	5, 10, 15, 20, 30
	Wheel speed ( $v_w$ , m/sec)	35, 30
Working Conditions	Workpiece speed ( $v_w$ , m/min)	18, 6

### 2.2 실험장치

Fig.1은 실험장치를 나타낸 그림으로 압축냉각공기를 발생하는 방법과 압축공기를 이용하여 연삭유를 Mist화 하여 가공점에 공급하는 방법을 나타내었다. 압축냉각공기의 경우 Air Compressor로부터 공급된 압축공기는 Air Filter와 Air Dryer를 통과하면서 압축공기내에 포함된 습기가 먼저 제거되고, 항온수조를 통해 미리 정해진 온도까지 냉각된다. 또한 Mist의 경우는 공기 압력차에 의해 연삭유가 공급되어지는 사이폰 방식의 노즐을 사용하고, 압축냉각공기에 의한 결빙을 막기 위해 공기와 연삭유가 독립된 Line을 통해 공급되는 외부 혼합방식을 사용했다.

항온수조를 통해 발생된 압축냉각공기의 유량은

220~240 l/min이며  $\phi 9.3mm$ 의 노즐을 통해 가공점에 직접 분사되며, Mist 분사노즐은 사용압력이  $8kgf/cm^2$ , 유량이 0.6~2000 ml/min으로 공급된 압축공기의 압력에 따라 공급유량의 범위가 변하게 된다.

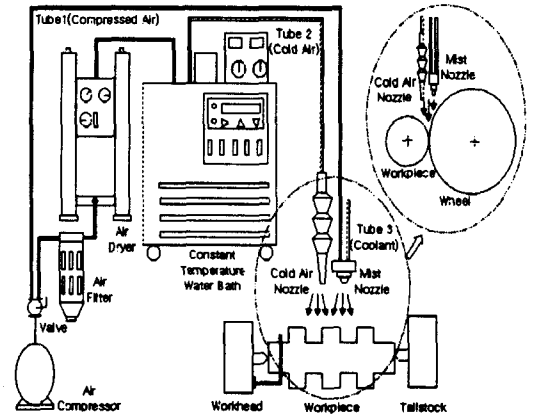


Fig.1 Schematic of experimental equipment

### 2.3 실험방법

연삭 실험은 대체냉각 가공기술로 제시된 Mist의 냉각효과와 윤활효과를 분석하기 위한 실험과 Mist를 사용한 냉각방법의 연삭 특성을 분석하기 위한 실험으로 나뉘어진다.

Mist의 냉각효과 및 윤활효과를 분석하기 위해서는 가공중에 발생하는 연삭열과 연삭력을 측정하여 공작물로의 에너지 유입비율을 해석하였고, Mist의 연삭특성을 분석하기 위해서는 Mist와 함께 사용하는 압축냉각공기의 온도와 Mist 분사량 그리고 Mist 분사방향에 따른 연삭 실험 후 공작물의 표면 품질을 해석하고 PULNIX 카메라를 사용해 스톨표면을 촬영했으며 스톨의 마모도 측정하였다. 가공점에서의 연삭열과 연삭력의 측정은 사용온도범위가  $-126^{\circ}C \sim 1260^{\circ}C$ 인 열전대(K-Type)를 시편내부에 부착시켜서 공구동력계 위에 설치하고, 절입깊이  $20\mu m$  씩 연삭하면서 가공점에서의 온도와 연삭동력을 측정하였다. Mist의 연삭특성실험은 압축냉각공기의 온도와 Mist의 분사량에 따른 실험과 Mist 분사방향에 따른 실험을 하였다. Table 2는 분사방향에 따른 연삭 조건을 나타낸다. Table 2를 보면 Mist의 분사량과 압축냉각공기의 유량 및 노즐입구에서의 온도는 4가지 동일하지만 가공점에서의 온도는 분사방향에 따라 다르다.

■ 압축냉각공기 □ Mist

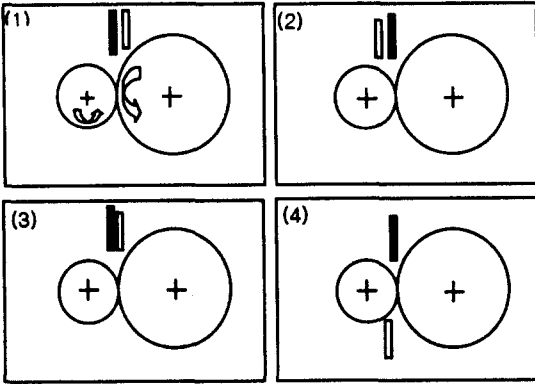


Fig. 2 Mist Spray Direction

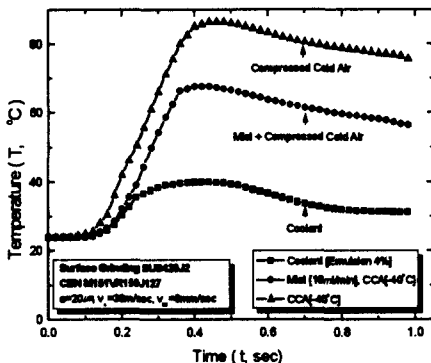
Table 2 Grinding Condition according to Nozzle Direction

분사방향	(1)	(2)	(3)	(4)
Mist 분사량( $m^3/min$ )	10	10	10	10
압축냉각공기온도( $^{\circ}C$ )	-40	-40	-40	-40
압축냉각공기유량( $l/min$ )	220	220	220	220
가공점에서의 온도( $^{\circ}C$ )	-25	-25	-20	-30

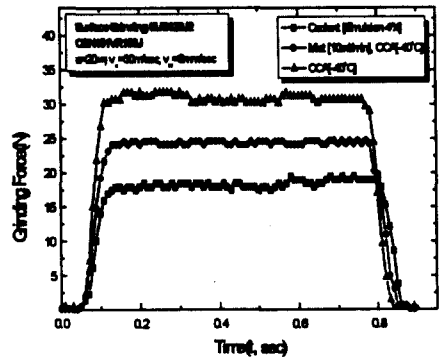
### 3. 실험결과

#### 3.1 냉각방법에 따른 연삭 성능

Fig. 3 (a), (b)은 냉각방법에 따른 공작물에서의 온도분포와 연삭력을 측정된 것이다. 초기 시편의 온도가  $24^{\circ}C$  이었고 냉각방법에 따른 최고온도는 연삭유가  $39.2^{\circ}C$ , Mist 는  $64.6^{\circ}C$ , 압축냉각공기의 경우는  $86.4^{\circ}C$  로 측정되었다.



(a) Grinding Temperature(T,  $^{\circ}C$ )

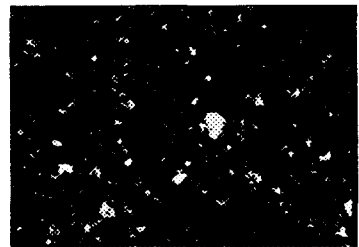


(b) Grinding Force

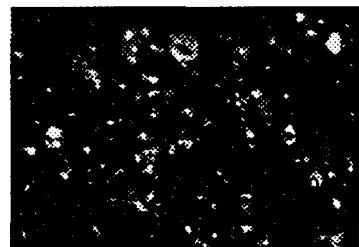
Fig. 3 Influence of cooling methods

연삭력의 경우도 이와 같은 경향을 보이고 있는데 이것은 연삭유의 경우 윤활성능을 향상시키기 위해 염소(Cl), 인(P), 황(S) 등과 같은 극압첨가제를 포함하고 있기 때문에 가공점에서의 연삭저항력이 작게 나타나기 때문이다.

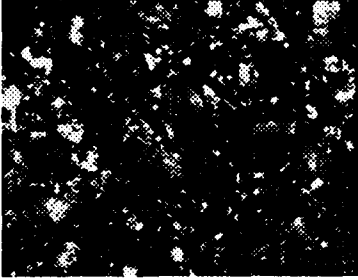
Fig. 4 는  $V_c = 10,000mm^3/mm$  까지 연삭 가공 후 슛들표면을 PULNIX 카메라를 사용하여 촬영한 사진이며 하얗게 보이는 부분이 칩에 의한 눈막힘 현상이 일어난 곳이다. (a)는 연삭유를 이용한 경우로 가공중에 드레싱 효과는 줄 수 없지만 윤활성이 뛰어나기 때문에 눈막힘 현상



(a) Coolant



(b) Mist



(c) Compressed cold air

Fig.4 Photograph of wheel surface

이 크게 일어나지 않았다. (b)의 경우는 Mist 를 이용한 경우로서 연삭유를 사용한 냉각방법만큼 냉각효과 및 윤활효과는 떨어지지만 Mist 와 함께 사용하는 압축냉각공기가 가공중에 스톨표면에 붙은 칩을 제거해 주는 역할을 하기 때문에 눈막힘 현상이 적었다. 그러나 압축냉각공기만을 이용한 (c)의 경우는 압축공기의 유속에 의해 스톨표면에 있는 칩을 제거해 주는 효과는 있지만 냉각효과 및 윤활효과가 적어 적어 가공시 연삭열이 많이 발생하며 칩이 스톨표면에 열경화되어 붙는 현상이 많기 때문에 스톨의 눈막힘 현상이 많이 발생하였다.

### 3.2 Mist 분사방향에 따른 연삭특성

Fig.5 와 Fig.6 압축냉각공기의 온도와 Mist 분사량에 따른 표면 거칠기와 진원도 결과를 나타낸 것이다. 측정결과를 보면 압축냉각공기의 온도를 낮게 할수록 가공점에서의 냉각성능이 향상되어 표면 거칠기가 좋아지며, Mist 분사량을 증가시키면 가공면에서의 윤활효과가 좋아지기 때문에 공작물의 진원도 향상을 가져올 수 있다.

Fig.7 은 Mist 의 분사방향에 따른 연삭 가공 후 공작물의 표면 거칠기, 진원도 그리고 잔류응력을 측정한 것이다. Fig.7 을 보면 Mist 를 공작물 아래에 분사시킨 경우의 표면품질이 다른 분사방법의 결과보다 좋음을 알 수 있는데 이것은 Mist 를 공작물의 아래에 분사시켜 주면 Mist 가 공작물의 회전면을 따라 가공점에 원활히 공급이 되어 윤활효과가 극대화 되며, 또한 가공점에서는 압축냉각공기가 Mist 와 혼합되지 않고 바로 가공점에 도달 되기 때문에 압축냉각공기에 의한 냉각효과가 크기 때문이다. 그러나 Mist 를 분사시키는 경우는 Mist 분사방향이 공작물의 회전방향과 반대가 되므로 Mist 가 가공점에 원활히 공급되지 않아서 표면품질 결과가 좋지 않았다. 잔류응력은 Mist 를 공작물 아래에 분사시킨 경우는 압축잔류응력이 크게

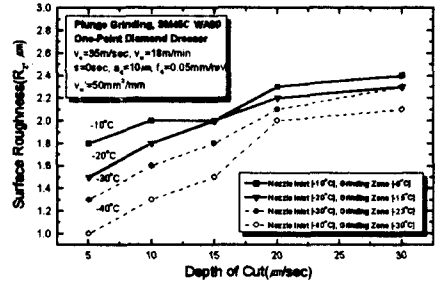


Fig.5 Influence of cold air on surface roughness

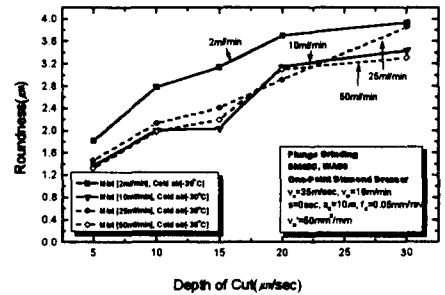
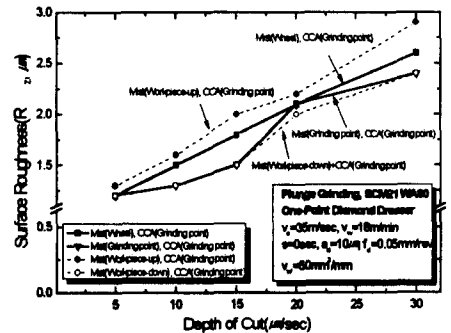
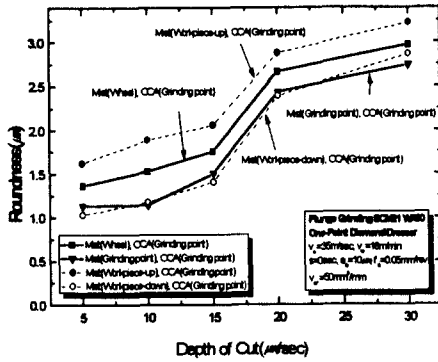


Fig.6 Influence of mist amount on roundness

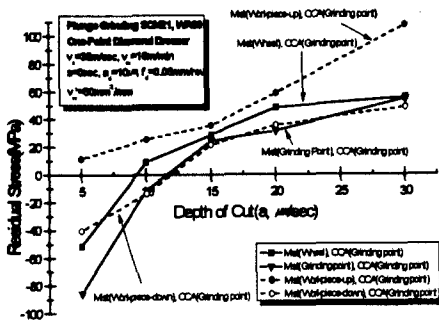
나타났고, Mist 를 공작물 위에 분사시킨 경우는 인장잔류응력이 크게 나타났다. 인장 잔류응력이 크게 나타난 것은 가공점에서 연삭열 발생이 많다는 것을 의미한다. 즉, Mist 를 공작물 위에 분사시키는 것은 연삭이 가공면에 연삭열이 발생한 후 냉각과 윤활을 시켜주는 것과 같기 때문에 인장응력이 크게 나타나게 된다.



(a) Surface roughness



(b) Roundness



(c) Residual stress

Fig.7 Influence of mist supply direction on surface integrity

### 3. 결론

연삭유와 Mist 그리고 압축냉각공기를 이용한 냉각방식과 노즐의 분사방향 및 분사량 그리고 압축냉각공기의 온도에 따른 연삭실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 냉각방식에 따른 공작물에서의 온도분포와 동력 측정결과를 보면 연삭유를 사용한 경우 좋은 윤활성능 때문에 온도분포와 동력이 가장 작았고, 압축냉각공기의 경우가 가장 크게 나타났다.
2. 냉각방식에 따른 표면품질 결과를 보면 Mist 를 사용한 냉각방법이 Coolant 나 압축냉각공기를 사용한 냉각방법보다 좋았다.
3. 압축냉각공기의 온도에 따른 연삭결과는 압축냉각공기의 온도가 낮을수록 표면 거칠기와 진원도가 좋았다.

4. Mist 분사량에 따른 연삭 결과는 Mist 이 증가함에 따라 표면 거칠기와 진원도가 좋아졌다.
5. Mist 를 공작물 아래에서 분사시켰을 때 열응력이 가장 적었으며, Mist 를 가공점 위에 직접 분사한 경우가 열응력이 크게 나타났다.
6. Mist 분사방향에 따른 연삭 가공결과를 보면 Mist 를 공작물 아래에 분사시킨 경우 Mist 가 가공점에서의 연삭유 유입이 원활하여 표면거칠기와 진원도 모두 좋은 결과를 나타냈다.
7. Mist 를 가공물 위에 분사시킨 경우는 가공물의 회전방향과 Mist 의 분사방향이 반대가 되므로 가공점에 Mist 가 원활히 공급되지 않아 가공후 표면거칠기와 진원도가 좋지않았다.

### 참고문헌

- [1] H. Z. Choi, S. W. Lee, H. D. Jeong, A comparison of the cooling effects of the compressed cold air and coolant for cylindrical grinding with CBN wheel, Proceeding of AFDM, pp 319-322, 1999
- [2] H. Z. Choi, S. W. Lee, J. S. Ahn, A study on the surface integrity for the cylindrical grinding with compressed cold air, ISAAT, pp. 187-192, 1998
- [3] H. Z. Choi, S. W. Lee, J. S. Ahn, A comparison of the cooling effects of the compressed cold air and coolant for the cylindrical grinding, International euspen conference, pp. 416-419, 1999
- [4] Tönshoff, H. K., Brinksmeier, E. Choi, H. Z., "Abrasive and their influence on force, temperatures and surface", International grinding conference, SME Technical paper MR86-626, June 1986
- [5] S.F.Krar, E.Ratterman, Superabrasive, 1989
- [6] G.Xiao, Malkin "On-line optimization for plunge grinding", Annals of the CIRP vol. 45/1/1996
- [7] Takashi Ueda, Masahiko Sato, Kazuo Nakayama, "Cooling characteristics of cutting grain in grinding", Annals of the CIRP vol. 45/1/1996
- [8] Hiroyuki Honma, Kazuhiko Yokogawa, Munehiko Yokogawa, Study of Environment Conscious CBN Cooling Air Grinding Technology, JSPE, Vol. 62, No. 11, pp1638-1642, 1996